

**ВПЛИВ ЛЕГУЮЧИХ ДОБАВОК НА СТРУКТУРУ І МАГНІТНІ
ВЛАСТИВОСТІ ПОРОШКОВИХ МАТЕРІАЛІВ НА ОСНОВІ ЗАЛІЗА**

В роботі досліджено вплив легуючих добавок олова на структуру та магнітні властивості порошкових матеріалів на основі заліза. Показано, що введення олова до залізного порошку в кількості 2–10 (мас.)% дозволяє змінювати магнітні властивості матеріалу у постійних та змінних полях. При цьому при кількості олова 6–10 %(мас.) спостерігається збільшення магнітної індукції як у постійному так і у змінному полях на 0,2–0,4 Тл у порівнянні з чистим залізом, та зменшення магнітних втрат у змінному полі при $B = 1$ Тл до 11–15 Вт/кг, при тому, що для чистого заліза вони досягають 25 – 30 Вт/кг при тій самій індукції. Покращення магнітних властивостей матеріалу, зі збільшенням легуючої добавки, пов'язане з підвищенням густини зразків, а також з утворенням інтерметалідів заліза з оловом по границях зерен, що приводить до підвищення електроопору матеріалу та, відповідно, до зменшення магнітних втрат. Таким чином, порошковий матеріал системи залізо – олово може бути рекомендований для виготовлення порошкових магнітопроводів для деталей електротехніки, які використовуються у змінних полях промислової частоти.

На даний час у зв'язку з інтенсивним розвитком виробництва деталей електротехніки все більше уваги приділяється порошковим магніто-м'яким матеріалам [1]. Економічні й технічні вимоги, що пропонуються промисловістю до порошкових виробів, приводять до необхідності удосконалювання і розробки нових матеріалів і технологій для вибору найбільш оптимального і високоефективного методу виробництва магніто-м'яких матеріалів. Останнім часом в області використання порошкових магніто-м'яких матеріалів з'являються нові тенденції і напрямки з одержання і застосування композиційних порошкових матеріалів з необхідними властивостями і структурою. Промислово розвинуті країни світу США, Японія, Німеччина, а також основний розроблювач і постачальник залізних порошків та їх сплавів Швеція (фірма Höganas), широко використовують у своїх новітніх розробках порошки заліза, плаковані органічними компонентами [2, 3]. Завдяки утворенню спеціальної структури розроблювачам названих матеріалів вдалося знизити магнітні втрати в суцільнопресованих магніто-м'яких матеріалах, що дозволяє виготовляти методом порошкової металургії велику кількість виробів, у тому числі для вузлів електродвигунів [4].

Великий інтерес до порошкових виробів із магніто-м'яких матеріалів виявляється з погляду використання їх у змінних полях [5]. Для матеріалів, що працюють у змінних магнітних полях, визначальними властивостями є магнітна проникність і питомі магнітні втрати [6]. Величина питомого електричного опору визначає граничну частоту, до якої доцільне застосування даного матеріалу. З метою підвищення питомого електричного опору у матеріали на основі залізного порошку вводять легуючі добавки. Але традиційно відомі порошкові матеріали на основі заліза леговані фосфором, кремнієм, алюмінієм, бором, знаходять обмежене застосування через великі магнітні втрати, що виникають у суцільнопресованих магнітопроводах [7]. Тому метою даної роботи є дослідження властивостей порошкових магніто-м'яких матеріалів з підвищеними магнітними характеристиками та низькими магнітними втратами, здатних працювати в змінних полях промислової частоти.

Підвищити магнітні характеристики порошкових матеріалів на основі заліза можна шляхом введення у залізний порошок олова [8]. Однак в роботах, присвячених матеріалам залізо – олово, вплив олова на магнітні характеристики заліза вивчений недостатньо. Тому доцільним є проведення систематичних досліджень умов одержання і магнітних характеристик такого порошкового матеріалу. Суміші залізного порошку марки ПЖРВ 200.28 з оловом готували механічним змішуванням в барабанному змішувачі з йоржками протягом 1 години. Пресування проводили при тиску 800 МПа,

після чого спресовані зразки піддавали відпалюванню при температурі 800 °С протягом 2 годин в середовищі водню. Допресування проводили при тиску 800 МПа. Для встановлення впливу температури спікання на магнітні характеристики одержуваного матеріалу спікання проводили в засипці із глинозему в вакуумній печі при різних температурах.

За вказаними вище технологічними режимами були виготовлені дослідні зразки із матеріалу на основі суміші залізного порошку з оловом в кількості 2, 4, 6, 8, 10 (мас.)%.

Досліджено густину та пористість зразків, спечених при температурах 1100 і 1250 °С, протягом 2 годин, в залежності від вмісту олова. Як видно з даних поданих у табл. 1 кількість легуючої добавки олова в межах 2–10 % (мас.) в цілому несуттєво впливає на густину матеріалу. Тільки при вмісті олова 8–10 % (мас.) спостерігається деяке зростання густини зразків, спечених при 1250 °С, обумовлене тим, що олово як легкоплавкий метал утворює рідку фазу, що сприяє заповненню пор та пустот між частками заліза.

Таблиця 1

Технологічні властивості зразків залізо–олово, спечених при температурах 1100 і 1250 °С протягом 2 годин у середовищі водню

Вміст олова у залізі, % (мас.)	Температура спікання 1100 °С	Температура спікання 1250 °С		
	Густина, г/см ³	Пористість, %	Густина, г/см ³	Пористість, %
-	7,19	7,8	7,24	5,9
2	7,03	9,1	7,18	7,9
4	7,11	8,4	7,22	6,1
6	7,19	7,8	7,24	5,9
8	7,22	6,1	7,28	5,6
10	7,26	5,8	7,27	5,7

Криві намагнічування зразків кільцевої форми розміром 35×25×5 мм у постійних полях визначали на вимірювальній інформаційній системі В-5045 балістичним методом. Для вивчення магнітних характеристик зразків у змінних полях використана ватметрова схема вимірювання за допомогою ферометра Ф5 при синусоїдальному режимі магнітної індукції. За допомогою ферометра знімалися дані для динамічної основної кривої намагнічування і визначалися питомі магнітні втрати в матеріалі при частоті 50 Гц.

На рис.1–3 приведені криві намагнічування в постійному та змінному магнітному полях кільцевих зразків залізо – олово з вмістом олова 2 – 10 % мас.

Аналіз залежностей (рис. 1–3) показує, що при вмісті олова від 6 до 10 % (мас.) спостерігається підвищення магнітної індукції В у постійному полі (рис. 1) до 1,58–1,6 Тл при напруженості магнітного поля Н рівному 2500 А/м. У змінному полі при магнітній індукції В, що дорівнює 1 Тл, значення магнітних втрат Р складає 11–15 Вт/кг (рис. 3, криві 5, 6), при тому, що для чистого заліза вони досягають 25–30 Вт/кг при тій самій індукції. Тому для подальших досліджень були обрані матеріали з вмістом олова 6–10 (мас.)%

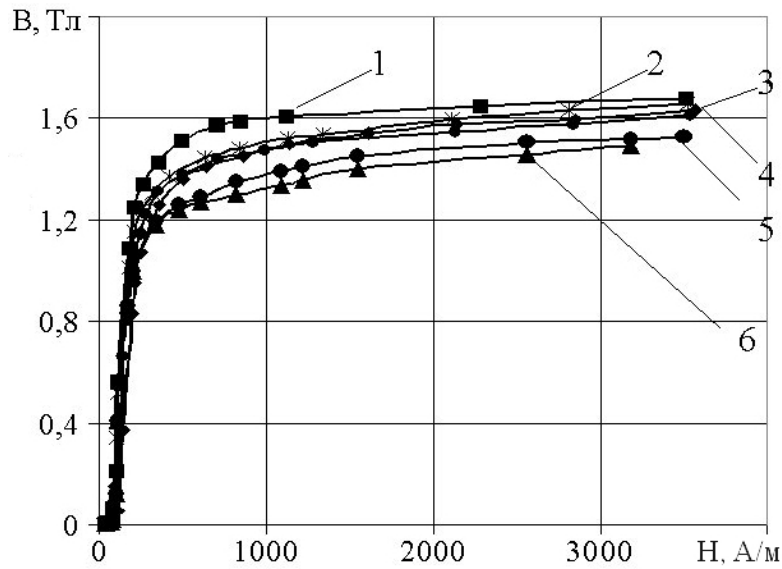


Рис. 1. Вплив добавок олова на магнітну індукцію B залізних зразків у постійному магнітному полі
 1 – залізо – олово 10 % (мас.); 2 – залізо – олово 8 % (мас.); 3 – залізо – олово 6 % (мас.);
 4 – залізо – олово 4 % (мас.); 5 – залізо – олово 2 % (мас.); 6 – чисте залізо

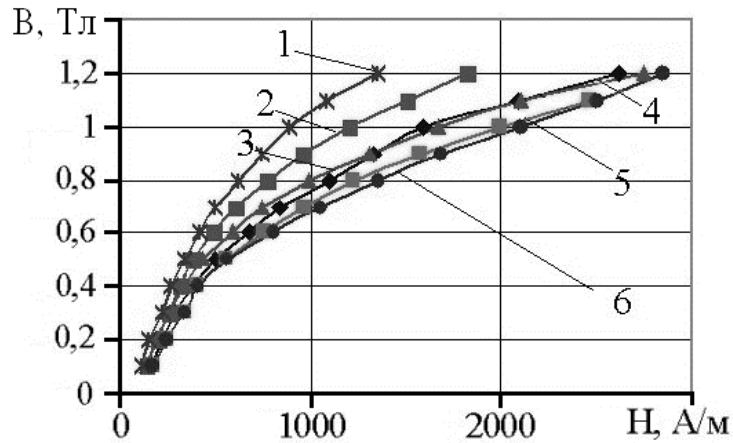


Рис. 2. Вплив добавок олова на магнітну індукцію B залізних зразків у змінному магнітному полі
 1 – залізо – олово 10 % (мас.); 2 – залізо – олово 8 % (мас.); 3 – залізо – олово 6 % (мас.);
 4 – залізо – олово 4 % (мас.); 5 – залізо – олово 2 % (мас.); 6 – чисте залізо

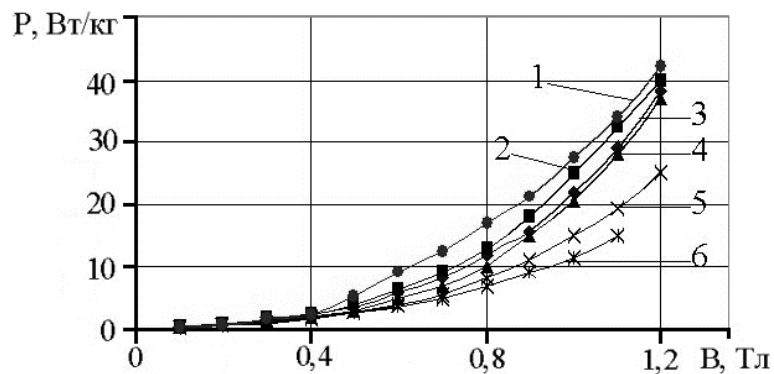


Рисунок 3. Залежність магнітних втрат P від магнітної індукції B зразків залізо–олово у змінному магнітному полі
 1 – чисте залізо; 2 – залізо – олово 2 % (мас.); 3 – залізо – олово 4 % (мас.);
 4 – залізо – олово 6 % (мас.); 5 – залізо – олово 8 % (мас.); 6 – залізо – олово 10 % (мас.)

Досліджено вплив температури спікання і часу ізотермічної витримки (1–2 год.) на густину та магнітні властивості зразків Fe – Sn (6–10 % (мас.)), спечених в вакуумі. Для порівняння поряд із зразками з вітчизняного порошку заліза марки ПЖРВ.200.28 також були досліджені зразки із суміші олова із порошками заліза марок PASC 60 і АНС 100.29 (виробництва Швеції), які рекомендовано фірмою “Hoganas” для виробництва магніто-м’яких матеріалів. Результати досліджень приведені у табл. 2.

Таблиця 2

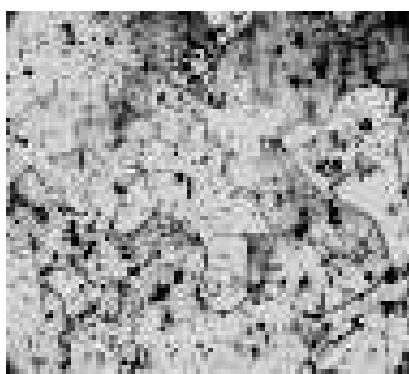
Вплив температури спікання і часу ізотермічної витримки на густину зразків Fe–Sn із різним вмістом олова

Склад матеріалу	Густина, г/см ³			
	Температура $T=1100^{\circ}\text{C}$		Температура $T=1250^{\circ}\text{C}$	
	1 година	2 години	1 година	2 години
Fe*	7,15	7,19	7,21	7,24
Fe* – Sn 6 % (мас.)	7,20	7,28	7,28	7,29
Fe* – Sn 8 % (мас.)	7,21	7,26	7,32	7,35
Fe* – Sn 10 % (мас.)	7,30	7,34	7,35	7,36
Fe** – Sn 8 % (мас.)	7,31	7,39	7,65	7,67
Fe*** – Sn 8 % (мас.)	7,24	7,35	7,35	7,45

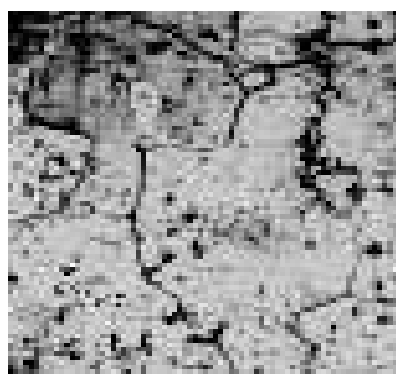
*ПЖРВ 200.28, **PASC 60, ***АНС 100.29

Із таблиці 2 видно закономірне зростання густини зразків з підвищенням температури спікання та часу ізотермічної витримки, а також при збільшенні кількості легуючої добавки олова. Найбільше значення густини спостерігається у порошку PASC 60 із Sn 8 % (мас.) – 7,67 г/см³ ($T=1250^{\circ}\text{C}$). Це може бути зумовлено тим, що порошок виробництва Швеції за своїм хімічним складом має менший вміст домішок, ніж вітчизняний, що сприяє кращій щільності матеріалу.

На рис. 4 зображена структура зразків із залізного порошку марки ПЖРВ 200.28 після відпалу при температурі 1250°C протягом 2 год. у вакуумі. Зразки відрізняються тим, що при їх виготовленні використовувався вихідний і відпалений порошок. На рис. 4б наочно видно, що відпал вихідного порошку заліза за режимом 700°C , 120 хв. у водні дозволяє отримати крупнозернисту структуру з мінімальним вмістом домішок на границях зерен.



а)



б)

Рис. 4. Зразки із залізного порошку марки ПЖРВ 200.28, спечені при температурі 1250°C :

а) вихідне залізо, $\times 160$; б) залізо, відпалене при $T = 700^{\circ}\text{C}$, $\times 160$

Легування залізного порошку оловом приводить до зниження міцності зразків. Це можна пояснити тим, що при температурі спікання 1250°C відбувається ріст зерен, а на їх границях утворюються інтерметаліди заліза з оловом, які окрихчують матеріал. Тому вміст олова у залізі необхідно обмежувати. Хоча при збільшенні кількості олова

до 10%(мас.) і вище ще може спостерігатися деяке покращення магнітних властивостей, проте такі матеріали не будуть технологічно і, відповідно, експлуатаційно придатними.

Проведений рентгенофазовий аналіз показав повну розчинність олова у залізі, що узгоджується із діаграмою рівноважного стану системи залізо – олово (при вмісті олова у кількості до 10(мас.)), однак фізико–механічні та металографічні дослідження показують наявність у структурі матеріалу сполук олова з залізом. Утворення цих сполук на границях зерен впливають на підвищення електроопору матеріалу, що сприяє зменшенню магнітних втрат.

Висновки

Встановлено, що добавка олова (6–10% (мас.)) до заліза приводить до одержання матеріалу з більш високими значеннями магнітної індукції (на 20–25%) і низькими втратами (на 40–50%) в порівнянні з залізним порошком без легуючих добавок. Підвищення магнітних властивостей матеріалів Fe-Sn пов'язане з отриманням зразків з більш високою густиною, ніж у чистого заліза. Зниження магнітних втрат пов'язано з утворенням інтерметалідів заліза з оловом на границях зерен, що підвищує електроопір матеріалу.

Таким чином, порошковий матеріал системи залізо–олово може бути рекомендований для виготовлення порошкових магнітопроводів, деталей електротехніки, які використовуються у змінних полях промислової частоти.

In the work the influence of the additives of tin on structure and magnetic properties of powder materials on the basis of iron is investigated. The addition of tin in an iron powder of amount 2-10 % wt. is shown, that allows to change magnetic properties of a material in constant and variable fields. Thus, at quantity of tin 6-10 % wt. the increase of a magnetic induction is observed, both in constant and in variable fields, on 0,2-0,4 T in comparison with pure iron, and reduction of magnetic losses in a variable field at $B = 1$ T up to 11 - 15 Watt/kg, that for pure iron they achieve 25 - 30 Watt/kg at the same induction. The improvement of magnetic properties of a material, with increase of the additive, is connected with increase of density of samples, and also with formation intermetalls of iron with tin on borders of grains, that results in increase electrical resistance of a material and, accordingly, to reduction of magnetic losses. Thus, a powder material of system iron-tin can be recommended for manufacturing powder micro-engines for electrotechnical details, which are used in variable fields of industrial frequency.

Література

1. Patricia Jansson. SMC materials — including present and future application. Proceeding of conference PM TEC 2000, New York, June 2000. — P. 19–20.
2. Dennis Jackson. Hoeganas widens its ferrous range // Metal powder report, 1998.—Vol 53. — P.26–27.
3. Kazuo Asaka. Soft magnetic materials and their applications. Proceeding of conference Euro PM 2000. Soft magnetic material workshop, Munich, october 2000. —P. 45–51.
4. A. Lange. Application of soft magnetic powder in electric motors. Proceeding of conference Euro PM 2000. Soft magnetic material workshop, Munich, october 2000 — P. 52–66.
5. Lars-Olof Pannander, Alan Jack. Soft magnetic iron powder materials AC properties and their application in electrical machines. Proceeding of conference Euro PM 2003, Valencia, 22–23 october, 2003 — P. 25–28.
6. Тульчинский Л.Н., Панасюк О.А. Порошковые магнитомягкие материалы // Порошковая металлургия. — 1995. — №7/8. — С.53–67.
7. Development of Fe–Si–B powders for soft – magnetic application. Godec Matiaz, Mandrino Djordje, Sustarsic Borivoj, Jenko Monika, Presern Vasilij // Mater. in technol., 2001.— №6. —P.325–330.
8. Burgess G.F., Aston J. Influences As and Sn at magnetic properties of materials on the iron based // Chem. Met. Eng., 1999.— № 7, 403.— P. 204.

Одержано 09.02.2005 р.